

F R E I B E R G E R F O R S C H U N G S H E F T E
Herausgegeben vom Rektor der TU Bergakademie Freiberg

A 911 Verfahrenstechnik/Umwelttechnik

Stoffliche und energetische Nutzung von Mikroalgen

Autorenkollektiv

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	8
1. Einleitung	9
2. Kultivierung von <i>Chlorella vulgaris</i>	12
2.1. Einleitung.....	12
2.2. Die Mikroalge <i>Chlorella vulgaris</i>	13
2.2.1. Vorkommen	13
2.2.2. Morphologie und Vermehrung	14
2.2.3. Zusammensetzung der Biomasse.....	14
2.3. Kultivierung von <i>Chlorella vulgaris</i> unter Laborbedingungen	16
2.3.1. Verwendete Algenspezies und Nährmedium.....	16
2.3.2. Kultivierungsbedingungen.....	17
2.3.3. Messmethoden	18
2.4. Variation der Wachstumsbedingungen.....	19
2.4.1. Einfluss der Lichtintensität- und -dauer	20
2.4.2. Einfluss der Temperatur	24
2.4.3. Einfluss der CO ₂ -Konzentration	27
2.5. Einfluss des Stickstoffgehaltes im Nährmedium	29
2.6. Scale-up	35
2.7. Zusammenfassung	40
3. Kultivierung im Heizkraftwerk Senftenberg	41
3.1. Projektziele	41
3.2. Aufbau der Versuchsanlagen	41
3.3. Algenspezies	46
3.4. Versorgung mit Rauchgas/CO ₂	47
3.5. Kultivierung der Algen	49
3.6. Energiebilanz.....	54
3.7. Biomasse.....	56
3.8. Zusammenfassung	60
4. Entwässerung und Trocknung	61
4.1. Einleitung.....	61
4.2. Entwässerung	62
4.2.1. Schwerkraftsedimentation	62
4.2.2. Filtration	63
4.2.3. Flotation	64
4.2.4. Zentrifugation	65
4.2.5. Entwässerungshilfen	67

4.3.	Trocknung.....	69
4.3.1.	Trocknung mit Solarenergie	69
4.3.2.	Steigrohr Trockner	70
4.3.3.	Sprüh Trockner	70
4.3.4.	Trommel Trockner	71
4.3.5.	Band Trockner	72
4.3.6.	Gefrier Trockner	74
4.4.	Bewertung.....	74
4.4.1.	Entwässerung.....	74
4.4.2.	Trocknung.....	76
4.5.	Hersteller	77
5.	Zellaufschluss und Extraktion.....	79
5.1.	Einleitung.....	79
5.2.	Zellaufschluss	81
5.3.	Lösungsmittlextraktion	90
5.4.	Extraktion mit überkritischen Fluiden.....	95
5.5.	Gewinnung weiterer Inhaltstoffe.....	99
6.	Hydrothermale Carbonisierung (HTC).....	101
6.1.	Literaturrecherche HTC.....	101
6.1.1.	Verfahren.....	102
6.1.2.	Katalysatoren	103
6.1.3.	Produkte.....	103
6.1.4.	HTC- Kohle aus Mikroalgen	104
6.1.5.	Marktübersicht HTC	106
6.2.	Vorversuche HTC	106
6.2.1.	Aufgabenstellung.....	106
6.2.2.	Material und Methoden	107
6.2.3.	Ergebnisse.....	108
7.	Hydrothermale Verflüssigung (HTL)	113
7.1.	Einleitung.....	113
7.2.	Stand der Hydrothermalen Verflüssigung.....	114
7.3.	Hydrothermale Verflüssigung mit Algen.....	119
7.4.	Pilot- und Demonstrationsanlagen.....	126
7.5.	Vorversuche HTL.....	129
8.	Hydrothermale Vergasung in überkritischem Wasser (SCWG).....	135
9.	Verfahren zur Kraftstoffgewinnung	141
9.1.	Anforderungen an Kraftstoffe	141
9.2.	Umesterung	144
9.3.	Pyrolyse bzw. Cracken.....	151
9.4.	Hydrocracken	155

9.5.	Hydrierung.....	156
9.6.	Vergasung.....	161
10.	Biogaserzeugung.....	164
10.1.	Einleitung.....	164
10.2.	Überblick Biogasproduktion.....	164
10.3.	Eignung der Mikroalgen zur Biogasproduktion	166
10.4.	Ertragsprognose.....	169
10.5.	Verwertungspfade.....	172
10.5.1.	Fermentation der gesamten Algenbiomasse	172
10.5.2.	Fermentation einzelner Fraktionen	173
10.5.3.	Kopplung mit einer Biogasreinigung	174
10.6.	Zusammenfassung	175
11.	Algen als Futtermittel.....	177
12.	Bewertung von Produktlinien.....	182
12.1.	Grundlagen	182
12.1.1.	Ziele der Bewertung	182
12.1.2.	Systemgrenzen	183
12.2.	Prozessketten	185
12.2.1.	Basisfall	187
12.2.2.	Biogas-Pfad	189
12.2.3.	HTC- Pfad.....	191
12.2.4.	HTL- Pfad.....	194
12.2.5.	Direkte Hydrierung.....	196
12.3.	Bewertung und Vergleich der Produktlinien.....	203
13.	Zusammenfassung	210
Tabellenverzeichnis		214
Bildverzeichnis.....		217
Anhang.....		222
A 1.	Übersicht HTL.....	223
A 2.	Übersicht Umesterung.....	228
A 3.	Übersicht Hydrocracken und Hydrierung.....	230
A 4.	Übersicht Pyrolyse.....	231
A 4.	Grunddaten der Bewertung.....	233
Literaturverzeichnis		234